

VU Research Portal

CP Violation in Open-Charmed Beauty Decays

Bel, L.J.

2019

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

citation for published version (APA)

Bel, L. J. (2019). *CP Violation in Open-Charmed Beauty Decays*. [PhD-Thesis - Research and graduation internal, Vrije Universiteit Amsterdam].

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

E-mail address:

vuresearchportal.ub@vu.nl

Samenvatting

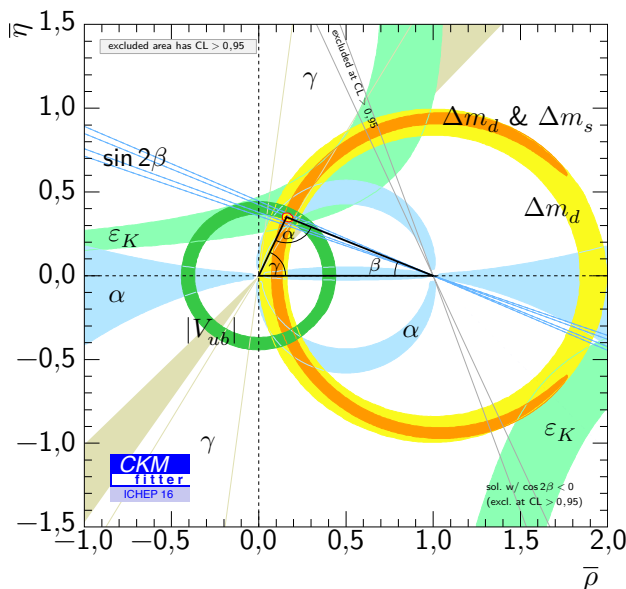
Het onderzoeksgebied der deeltjesfysica bestudeert de kleinste bouwstenen waaruit het universum is opgebouwd: elementaire deeltjes. De grootte van deze deeltjes is vele malen kleiner dan alles wat we in het dagelijks leven tegenkomen, zelfs vele malen kleiner dan cellen. De drie elementaire deeltjes waaruit atomen bestaan – en waar wij dus uiteindelijk allemaal uit bestaan – zijn *up* en *down* quarks, en elektronen.

In de eerste helft van de vorige eeuw is een interessant fenomeen ontdekt: antimaterie. Antimateriedeeltjes gedragen zich precies hetzelfde als gewone materie, op twee dingen na: hun lading is tegengesteld, en ze komen maar heel beperkt voor in de natuur. Vooral dat laatste is interessant voor fundamenteel onderzoek. Wanneer materie in grote deeltjesversnellers geproduceerd wordt, wordt er altijd exact evenveel antimaterie geproduceerd. Als we nu terug in de tijd gaan, tot de oerknal, zou ons universum uit exact even veel materie als antimaterie moeten bestaan!

Maar dat is niet het geval. Wij, onze planeet, het zonnestelsel en alle sterren en hemellichamen die we kunnen waarnemen bestaan uit materie. Dus is de grote vraag: waar is alle antimaterie heen? Het onderzoek in dit proefschrift hoopt bij te dragen aan een antwoord op deze fundamentele vraag.

Een mogelijke uitleg is dat materie en antimaterie zich heel vergelijkbaar gedragen, maar net niet helemaal hetzelfde. De schending van de symmetrie tussen materie en antimaterie wordt *CP*-schending genoemd. Een kleine hoeveelheid *CP*-schending wordt voorspeld door onze huidige fysische kennis (zie Fig. 1). De hoeveelheid *CP*-schending die we in de natuur zien is echter bij lange na niet voldoende om het verschil tussen de hoeveelheid materie en antimaterie te verklaren. Vooralsnog blijft het daarom een open vraag: wat is er met de antimaterie gebeurd?

Het onderzoek in dit proefschrift hoopt meer inzicht te verschaffen in *CP*-schending in het verval van vreemde schoonheidsmesonen: B_s^0 -mesonen, en hun antideeltjes \bar{B}_s^0 -mesonen. Deze deeltjes kunnen niet direct worden waargenomen, maar alleen door middel van de deeltjes waarin ze na korte tijd vanzelf uiteen vallen: hun vervalsproducten. In dit proefschrift wordt gekeken naar het verval van een B_s^0 -meson naar twee vervalsproducten: een D_s^\mp -meson en een kaon (K^\pm). Deze deeltjes kunnen worden waargenomen door een deeltjesdetector, in dit geval de LHCb-detector (zie Fig. 2) bij de Large Hadron Collider van CERN, in

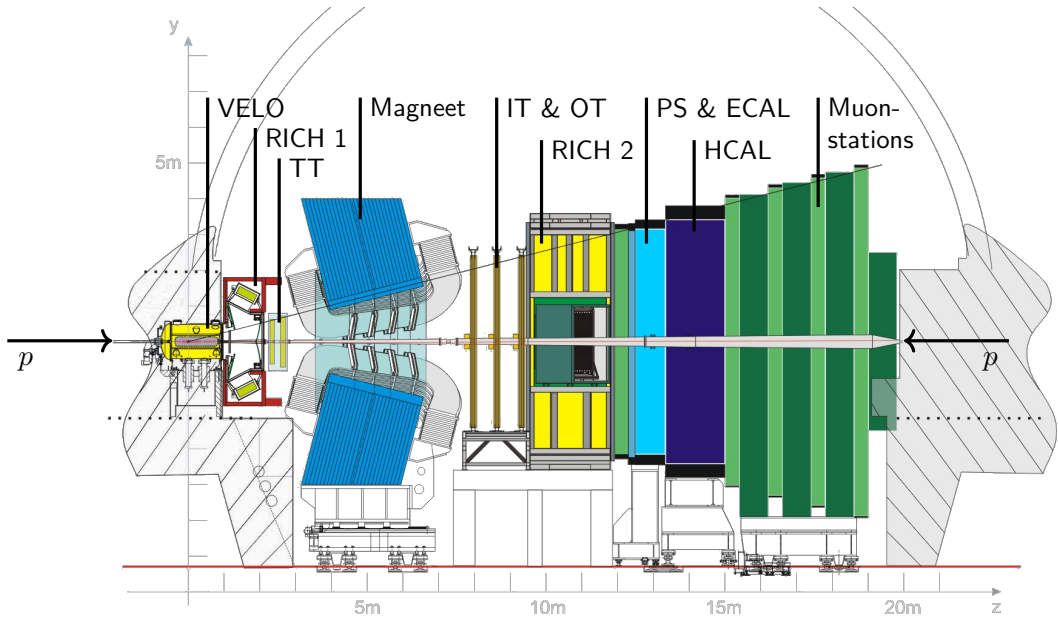


Figuur 1 Een van de zogeheten *unitariteitsdriehoeken* van het Standaard Model. De oppervlakte van de driehoek is een maat voor de hoeveelheid *CP*-schending die in de natuur voorkomt. De gekleurde gebieden representeren ieder een andere meting van *CP*-schending, en de grootte van het gebied de onzekerheid van die meting. De apex van de driehoek ligt binnen de onzekerheid van al die metingen, wat een sterk argument is voor de validiteit van het model. Het onderzoek in dit proefschrift betreft de parameter γ , in de linkeronderhoek van de driehoek. Over deze parameter is relatief weinig bekend, zoals ook te zien is aan het grote gekleurde gebied, dat de onzekerheid aangeeft.

Genève. Deze detector is de grootte van een huis, en bevindt zich 80 m onder het aardoppervlak. In de detector botsen protonen van de LHC tegen elkaar, nadat ze versneld zijn tot meer dan 99,999 % van de lichtsnelheid. Deze botsingen generen enorme hoeveelheden deeltjes, waaronder B_s^0 -mesonen.

Allereerst is onderzocht hoe vaak dit specifieke verval van B_s^0 -mesonen voorkomt in verhouding tot alle andere mogelijke vervallen van zulke deeltjes: de vervalsverhouding. Dit getal kan worden berekend met behulp van het aantal waargenomen $B_s^0 \rightarrow D_s^\mp K^\pm$ -vervallen en de efficiëntie waarmee deze kunnen worden gemeten. Die efficiëntie kan worden bepaald door middel van simulaties, waarin de volledige proton-protoninteracties, vervallen, materiaalinteracties en detectorrespons accuraat worden gesimuleerd. De waargenomen vervalsverhouding is ongeveer 2 promille, wat een totaal geeft van rond de 5000 $B_s^0 \rightarrow D_s^\mp K^\pm$ -vervallen in de data. De grote piek aan linkerkant van Fig. 3 bevat deze vervallen.

Uit deze vervallen kan CP -schending worden gemeten dankzij een interessante eigenschap van B_s^0 -mesonen: gedurende hun (korte) leven veranderen ze met hoge



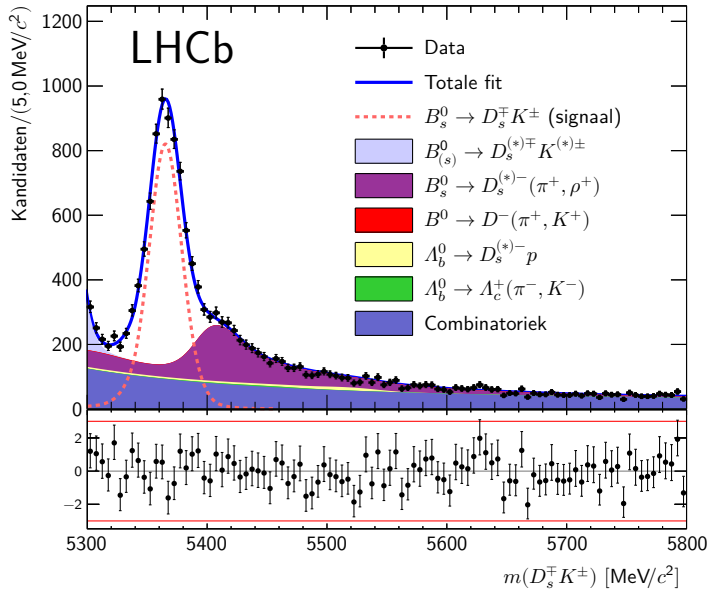
Figuur 2 Doorsnede van de LHCb-detector. De onderdelen van de detector zijn aangegeven in de figuur. De protonen van de LHC botsen links in de figuur, binnenin de VELO.

frequentie in hun overeenkomstige antideeltje en weer terug. Dit fenomeen heet *vermenging* en kan slechts gebeuren in enkele soorten deeltjes. *CP*-schending kan voorkomen als asymmetrie tussen twee vergelijkbare processen: het vermengen en vervallen van een meson, en het vermengen en vervallen van het overeenkomstige antimeson. Hierdoor kan *CP*-schending worden gemeten door het bestuderen van het verval van B_s^0 -mesonen.

Om vermenging goed waar te kunnen nemen is het noodzakelijk te weten hoe lang een meson leefde voordat het verviel. Deze levensduur kan worden bepaald met behulp van de massa en impuls van het meson:

$$t = \frac{m\Delta x}{p}, \quad (1)$$

met t de levensduur van het meson, m zijn massa, Δx de afgelegde afstand, en p de impuls. Dit getal kan alleen worden gebruikt in combinatie met de onzekerheid erop. Een eerste schatting van deze onzekerheid kan worden berekend uit de onzekerheden op de getallen aan de rechterkant van Eq. (1). Het is echter bekend dat deze schatting de daadwerkelijke onzekerheid onderschat. Daarom dient deze te worden gekalibreerd. Deze kalibratie moet worden uitgevoerd met vervallen waarvan de levensduur al bekend is. In dit geval zijn dat direct vervallen, of prompte, D_s^\mp -vervallen. Ieder prompt D_s^\mp -meson is gecombineerd met een

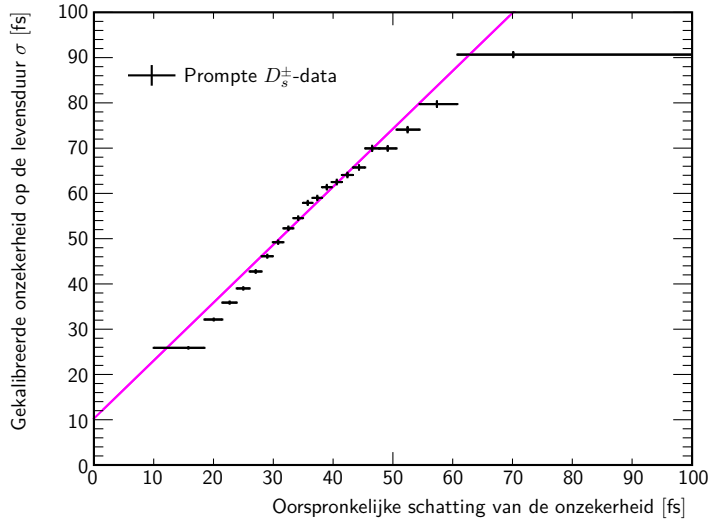


Figuur 3 Verdeling van de invariante massa van de combinatie van D_s^\mp - en K^\pm -mesonen, zoals bepaald in het onderzoek dat in dit proefschrift wordt beschreven. De onderbroken lijn aan de linkerkant van de figuur geeft de massa van het B_s^0 -meson aan (ongeveer $5367 \text{ MeV}/c^2$), en de piek in de data op die plek geeft aan dat de juiste vervallen aanwezig zijn. De gekleurde gebieden zijn achtergronddata, en dragen niet bij aan de meting.

kaon, zodanig dat er een “nep”- B_s^0 -meson ontstaat: het lijkt op een echte, maar door het prompte verval is de levensduur gelijk aan nul. Hierom kan vanuit de spreiding van de waargenomen levensduur de daadwerkelijke onzekerheid op de levensduur bepaald worden. Door dit te vergelijken met de eerdere schatting voor de onzekerheid kan een schaalfactor bepaald worden, zoals weergegeven in Fig. 4. Deze schaalfactor kan op de echte B_s^0 -vervalen worden toegepast om de onzekerheden te kalibreren.

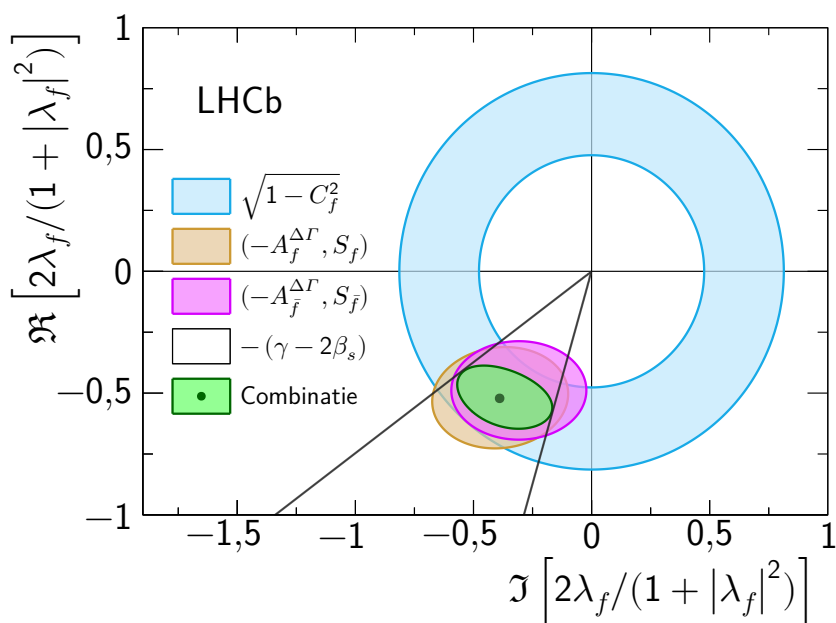
Met de vervalstijden en gekalibreerde onzekerheid op die getallen kan de CP -schending in de data gemeten worden. Hiervoor moeten de mesonen voorzien worden van een *tag*, die aangeeft of ze geproduceerd zijn als een B_s^0 -meson of als de tegenhanger, een \bar{B}_s^0 -meson. Zo ontstaan er vier vervalscombinaties: een B_s^0 - of \bar{B}_s^0 -meson, die beide kunnen vervallen naar een van beide eindtoestanden $D_s^- K^+$ of $D_s^+ K^-$. Door deze vier combinaties te analyseren kunnen vijf CP -schendingsparameters bepaald worden: C_f , S_f , $S_{\bar{f}}$, $A_f^{\Delta\Gamma}$, en $A_{\bar{f}}^{\Delta\Gamma}$. Samen leiden deze parameters tot een meting van de parameter γ (geïntroduceerd in Fig. 1), zoals geïllustreerd in Fig. 5.

Het resultaat is $\gamma = (128_{-22}^{+17})^\circ$, wat significant afwijkt van $(0 \bmod 180)^\circ$



Figuur 4 Onzekerheid op de levensduur, gemeten met prompte D_s^+ -vervalen (zwarte datapunten), als functie van de oorspronkelijke schatting van de onzekerheid. De lijn is een lineaire fit aan deze data. De gradiënt van deze lijn is de schaalfactor tussen de oorspronkelijk schatting en de daadwerkelijke onzekerheid op de levensduur, en is ongeveer 1,3.

en daarom het eerste bewijs voor CP -schending is in het verval $B_s^0 \rightarrow D_s^\mp K^\pm$. De waarde is ongeveer 2,3 standaarddeviaties hoger dan verwacht uit eerdere metingen van LHCb: $\gamma = (72.2^{+6.8}_{-7.3})^\circ$. Deze afwijking is klein genoeg dat het een statistische fluctuatie zou kunnen zijn. Desalniettemin zou het een indicatie voor nieuwe fysica kunnen zijn, zoals een verschil in CP -schending voor B^+ -mesonvervalen, die voornamelijk zijn gebruikt voor het LHCb-resultaat, en B_s^0 -mesonvervalen waarop het onderzoek in dit proefschrift is gebaseerd.



Figuur 5 De waarde van γ die door de in dit proefschrift gepresenteerde analyse is bepaald (zwarte lijnen en groen gekleurd gebied) en de waarden van de vijf CP -schendingsparameters waardoor dit tot stand is gekomen (andere gekleurde gebieden). De hoek tussen de combinatie en het punt $(0, 1)$ geeft een waarde $\gamma = (72.2^{+6.8}_{-7.3})^\circ$.